

学校编码: 10384
学号: 22420090153252

分类号_____密级_____
UDC_____

廈門大學

博 士 学 位 论 文

中国边缘海生物固氮速率的时空分布及其
影响因素

Spatial and temporal variations of biological N₂ fixation rate
and its controlling factors in the China marginal seas

林 峰

指导教师姓名: 陈 敏 教 授

专 业 名 称: 海 洋 化 学

论文提交日期:

论文答辩时间:

2013年4月

厦门大学博硕士论文摘要库

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为(厦门大学海洋与地球学院同位素海洋化学)课题(组)的研究成果,获得(厦门大学海洋与地球学院同位素海洋化学)课题(组)经费或实验室的资助,在(厦门大学海洋与地球学院同位素海洋化学)实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学博硕士论文摘要库

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（ ） 1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

（ ☒ ） 2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学博硕士论文摘要库

目 录

摘要.....	1
Abstract.....	3
第一章 绪论.....	5
1.1 海洋氮循环.....	5
1.2 生物固氮作用的研究历史.....	6
1.3 海洋生物固氮作用研究进展.....	7
1.4 海洋固氮生物.....	8
1.5 海洋生物固氮作用的主要影响因素.....	10
1.5.1 温度.....	11
1.5.2 盐度.....	11
1.5.3 光照.....	11
1.5.4 氧气.....	12
1.5.5 无机营养盐.....	12
1.5.5.1 氮.....	12
1.5.5.2 磷.....	13
1.5.5.3 碳.....	13
1.5.6 痕量金属.....	14
1.5.6.1 铁.....	14
1.5.6.2 钼.....	15
1.6 海洋生物固氮作用的研究方法.....	15
1.6.1 乙炔还原法.....	16
1.6.2 $^{15}\text{N}_2$ 示踪法.....	17
1.6.3 分子生物学方法.....	17
1.6.4 固氮生物生物量法.....	18
1.6.5 N^* 指数法.....	18
1.6.6 颗粒物 N:P 比值法.....	20
1.6.7 溶解无机碳 (DIC) 收支法.....	20
1.6.8 颗粒氮的 $\delta^{15}\text{N}$ 法.....	20
1.6.9 硝酸盐 $\delta^{15}\text{N}$ 法.....	21
1.6.10 卫星遥感观测.....	22
1.7 海洋生物固氮作用的生物地球化学意义.....	23
1.7.1 新氮输入.....	23
1.7.2 大气 CO_2 的汇.....	23
1.7.3 海洋氮储库的收支平衡.....	24
1.8 全球海洋生物固氮速率的估算.....	24
1.9 本研究的内容与目标.....	25

第二章 生物固氮速率的测定	26
2.1 引言	26
2.2 研究方法	27
2.2.1 样品采集与培养实验	27
2.2.2 颗粒物中氮同位素组成的分析	27
2.3.3 生物固氮速率的计算	29
第三章 北部湾北部海域生物固氮速率的时空变化及其机制	31
3.1 引言	31
3.2 样品采集	31
3.3 结果	39
3.3.1 温度、盐度的分布	39
3.3.2 无机氮营养盐的分布	43
3.3.3 颗粒有机碳、氮以及 C/N 比	50
3.3.4 悬浮颗粒有机物的碳、氮同位素组成	57
3.3.5 生物固氮速率	61
3.3.5.1 表层生物固氮速率	61
3.3.5.2 生物固氮速率的垂直分布	62
3.3.5.3 积分固氮速率	64
3.4 讨论	66
3.4.1 与历史数据的比较	66
3.4.2 温度、盐度对生物固氮作用的影响	66
3.4.3 无机氮营养盐的影响	70
3.4.4 琼州海峡西向流的影响	72
3.4.5 生物固氮作用对初级生产力的贡献	73
3.5 结论	73
第四章 南海生物固氮作用的研究	75
4.1 引言	75
4.2 研究方法	76
4.2.1 样品采集	76
4.2.2 方法	77
4.2.2.1 生物固氮速率的测定	77
4.2.2.2 Fe、P 对生物固氮速率的影响	77
4.2.2.3 温度、盐度和主要营养盐的测定	77
4.3 结果	89
4.3.1 春季	89
4.3.1.1 温度、盐度	89
4.3.1.2 无机营养盐	93
4.3.1.3 颗粒有机碳和颗粒氮	94
4.3.1.4 颗粒氮同位素组成	100
4.3.1.5 生物固氮速率	102
4.3.2 秋季	104

4.3.2.1 温度、盐度.....	104
4.3.2.2 颗粒有机碳和颗粒氮.....	107
4.2.3.3 颗粒物的氮同位素组成.....	109
4.3.3.4 生物固氮速率.....	110
4.3.4 冬季.....	112
4.3.4.1 温度、盐度.....	112
4.3.4.2 颗粒氮.....	114
4.3.4.3 颗粒物的氮同位素组成.....	115
4.3.4.4 生物固氮速率.....	115
4.3.4 Fe、P 对生物固氮速率的影响	117
4.4 讨论.....	119
4.4.1 生物固氮速率的时空变化.....	119
4.4.1.1 季节变化.....	119
4.4.1.2 空间变化.....	119
4.4.1.3 生物固氮速率测值的比较.....	120
4.4.2 温度、盐度对生物固氮作用的影响.....	120
4.4.3 Fe 和 P 对生物固氮速率的影响	126
4.4.4 年固氮通量的估算.....	127
4.4.5 生物固氮对生物生产力的贡献.....	128
4.4.6 利用氮同位素质量平衡模型估算春季南海向上输送的硝酸盐通量	128
4.5 结论.....	129
第五章 台湾海峡南部海域的生物固氮作用.....	130
5.1 引言.....	130
5.2 研究方法.....	131
5.2.1 样品采集.....	131
5.2.2 方法.....	132
5.2.2.1 生物固氮速率的测定.....	132
5.2.2.2 温度、盐度的测定.....	132
5.3 结果.....	135
5.3.1 温度和盐度.....	135
5.3.2 颗粒有机碳、颗粒氮以及 C/N 比.....	137
5.3.3 颗粒物氮同位素组成.....	139
5.3.4 生物固氮速率.....	140
5.4 讨论.....	142
5.4.1 夏季台湾海峡南部海域的水文状况.....	142
5.4.2 水团对生物固氮作用的影响.....	144
5.4.3 颗粒物 ^{15}N 丰度对生物固氮作用的指示	146
5.5 结论.....	148
第六章 春季黄、东海生物固氮作用的研究.....	150
6.1 引言.....	150
6.2 研究方法.....	152

6.2.1 样品采集.....	152
6.2.2 方法.....	160
6.3 结果.....	161
6.3.1 温度、盐度.....	161
6.3.2 颗粒氮及其 $\delta^{15}\text{N}$	170
6.3.3 生物固氮速率.....	172
6.3.3.1 断面分布.....	172
6.3.3.2 积分固氮速率.....	173
6.4 讨论.....	175
6.4.1 水团对黄海生物固氮速率的影响.....	175
6.4.2 水团对东海生物固氮速率的影响.....	177
6.4.2.1 沿岸流的影响.....	177
6.4.2.2 黑潮水的影响.....	178
6.4.3 年固氮通量的估算.....	179
6.4.4 东海氮的收支状况.....	179
6.5 结论.....	180
第七章 CO_2 对生物固氮速率的影响	181
7.1 前言.....	181
7.2 研究方法.....	182
7.2.1 酸调节法.....	182
7.2.2 CO_2 平衡调节法.....	182
7.4 结果.....	186
7.4.1 印度洋.....	186
7.4.2 南海南部海域.....	186
7.4.3 台湾海峡.....	187
7.5 讨论.....	189
7.6 结论.....	190
第八章 结论	191
8.1 生物固氮速率的时空分布.....	191
8.2 生物固氮作用的调控因素.....	191
8.3 颗粒物 ^{15}N 丰度对生物固氮作用的指示.....	192
8.4 大气 CO_2 浓度变化对生物固氮作用的影响.....	192
8.5 存在的不足与展望.....	193
参考文献	194
附录：在学期间所做的主要工作	221
致 谢	223

Contents

Chinese abstract	1
English abstract	3
Chapter 1 Introduction	5
1.1 Marine nitrogen cycle	5
1.2 History of marine nitrogen fixation study.....	6
1.3 Progress of marine nitrogen fixation.....	7
1.4 Marine nitrogen fixers.....	8
1.5 Major factors affecting marine biological N ₂ fixation	10
1.5.1 Temperature	11
1.5.2 Salinity	11
1.5.3 Light.....	11
1.5.4 Oxygen.....	12
1.5.5 Inorganic nutrients	12
1.5.5.1 N.....	12
1.5.5.2 P	13
1.5.5.3 C.....	13
1.5.6 Trace metals	14
1.5.6.1 Fe.....	14
1.5.6.2 Mo.....	15
1.6 Methods for marine biological N ₂ fixation study	15
1.6.1 Acetylene reduction assay.....	16
1.6.2 ¹⁵ N ₂ tracer assay	17
1.6.3 Molecular biology method.....	17
1.6.4 Diazotroph abundance	18
1.6.5 N* index	18
1.6.6 N:P ratio in particles	20

1.6.7 DIC budget.....	20
1.6.8 $\delta^{15}\text{N}$ of PN.....	20
1.6.9 $\delta^{15}\text{N}$ of NO_3^-	21
1.6.10 Remote sensing	22
1.7 Biogeochemical significance of marine N_2 fixation	23
1.7.1 New nitrogen input	23
1.7.2 Sink for atmospheric CO_2	23
1.7.3 Marine nitrogen budget.....	24
1.8 Estimates of global oceanic N_2 fixation.....	24
1.9 Objects and contents of this thesis	25
Chapter 2 Measurement of marine biological N_2 fixation rate.....	26
2.1 Introduction.....	26
2.2 Method	27
2.2.1 Sampling procedures and incubation experiments	27
2.2.2 Analysis of nitrogen isotopic composition in particles	27
2.2.3 Calculation of N_2 fixation rate	29
Chapter 3 Spatial and temporal variations of N_2 fixation and its control factors in the northern Beibu Gulf.....	31
3.1 Introduction.....	31
3.2 Sampling	31
3.3 Results.....	39
3.3.1 Distribution of temperature and salinity	39
3.3.2 Distribution of inorganic nutrients.....	43
3.3.3 POC, PN and C/N ratio.....	50
3.3.4 Carbon and nitrogen isotopic composition of POM	57
3.3.5 Biological N_2 fixation rate	61
3.3.5.1 Distribution of surface N_2 fixation rate.....	61
3.3.5.2 Vertical distribution of N_2 fixation rate.....	62

3.3.5.3 Distribution of integrated N_2 fixaiton rate	64
3.4 Discussion	66
3.4.1 Comparison with literature results	66
3.4.2 Impact of temperature and salinity	66
3.4.3 Impact of inorganic nutrients	70
3.4.4 Impact of the Qiongzhou Strait westward current	72
3.4.5 Contribution of N_2 fixation to primary production	73
3.5 Conclusion	73
Chapter 4 Biological N_2 fixaiton in the South China Sea	75
4.1 Introduction	75
4.2 Materials and methods	76
4.2.1 Sampling	76
4.2.2 Methods	77
4.2.2.1 Determination of N_2 fixaiton rate	77
4.2.2.2 Effect of Fe and P on N_2 fixaiton rate	78
4.2.2.3 Measurements of temperature, salinity and inorganic nutrients	77
4.3 Results	89
4.3.1 Spring	89
4.3.1.1 Temperature and salinity	89
4.3.1.2 Inorganic nutrients	93
4.3.1.3 POC and PN	94
4.3.1.4 Nitrogen isotopic composition of PN	100
4.3.1.5 N_2 fixation rate	102
4.3.2 Autumn	104
4.3.2.1 Temperature and salinity	104
4.3.2.2 POC and PN	107
4.3.2.3 Nitrogen isotopic composition of PN	109
4.3.2.4 N_2 fixation rate	110
4.3.4 Winter	112

4.3.4.1 Temperature and salinity	112
4.3.4.2 PN	114
4.3.4.3 Nitrogen isotopic composition of PN	115
4.3.4.4 N ₂ fixation rate	115
4.3.4 Effect of Fe and P on N ₂ fixaiton rate	117
4.4 Discussion	119
4.4.1 Spatial and temporal distribution pattern of N ₂ fixation rate	119
4.4.1.1 Seasonal variation	119
4.4.1.2 Spatial variation	119
4.4.1.3 Comparison with literature results	120
4.4.2 Impact of temperature and salinity	120
4.4.3 Effect of Fe and P on N ₂ fixaiton rate	126
4.4.4 Estimate of annual N ₂ fixation flux	127
4.4.5 Contribution of N ₂ fixation to primary production	128
4.4.6 Nitrogen budgets	128
4.5 Conclusion	129
Chapter 5 Biological N₂ fixaiton in the southern Taiwan Strait.....	130
5.1 Introduction.....	130
5.2 Methods.....	131
5.2.1 Sampling	131
5.2.2 Methods.....	132
5.2.2.1 Measurement of N ₂ fixation rate.....	132
5.2.2.2 Measurement of temperature and salinity.....	132
5.3 Results.....	135
5.3.1 Temperature and salinity	135
5.3.2 POC, PN and C/N ratio	137
5.3.3 Nitrogen isotopic composition of PN	139
5.3.4 N ₂ fixation rate.....	140
5.4 Discussion	142

5.4.1 Hydrological characteristics in the southern Taiwan Strait in summer	142
5.4.2 Impact of water masses on N ₂ fixaiton	144
5.4.3 PN-δ ¹⁵ N as a tracer of N ₂ fixation	146
5.5 Conclusion	148
Chapter 6 Biological N₂ fixaiton in the Yellow Sea and the East China	
Sea in spring.....	150
6.1 Introduction.....	150
6.2 Methods.....	152
6.2.1 Sampling	152
6.2.2 Methods.....	160
6.3 Results.....	161
6.3.1 Temperature and salinity	161
6.3.2 PN and its δ ¹⁵ N	170
6.3.3 N ₂ fixation rate.....	172
6.3.3.1 Sectional distribution	172
6.3.3.2 Integrated N ₂ fixaiton rate.....	173
6.4 Discussion	175
6.4.1 Impact of water masses on N ₂ fixation in the Yellow Sea	175
6.4.2 Impact of water masses on N ₂ fixaiton in the East China Sea	177
6.4.2.1 Impact of coastal current.....	177
6.4.2.2 Impact of the Kuroshio	178
6.4.3 Estimates of annual N ₂ fixation flux.....	179
6.4.4 Nitrogen budgets in the East China Sea.....	179
6.5 Conclusion	180
Chapter 7 Effect of CO₂ on biological N₂ fixation rate	181
7.1 Introduction.....	181
7.2 Methods.....	182

7.2.1 Acid adjustment method	182
7.2.2 CO ₂ adjustment method	182
7.4 Results.....	186
7.4.1 Indian Ocean	186
7.4.2 South China Sea.....	186
7.4.3 Taiwan Strait	187
7.5 Discussion	189
7.6 Conclusion	190
Chapter 8 Conclusions	191
8.1 Spatial and temporal variations of N ₂ fixation rates	191
8.2 Control factors on N ₂ fixation.....	191
8.3 PN-δ ¹⁵ N as a tracer of N ₂ fixation	192
8.4 Effect of elevated CO ₂ on N ₂ fixation	192
8.5 Shortcomings and outlook	193
References.....	194
Appendixes	221
Acknowledgements.....	223

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库